

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/US05/003357

International filing date: 04 February 2005 (04.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: US
Number: 60/570,052
Filing date: 11 May 2004 (11.05.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 07 March 2005 (07.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

1289556

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

February 25, 2005

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE.

APPLICATION NUMBER: 60/570,052

FILING DATE: *May 11, 2004*

RELATED PCT APPLICATION NUMBER: PCT/US05/03357



Certified by

Don W. Duckas

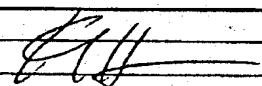
Under Secretary of Commerce
for Intellectual Property
and Director of the United States
Patent and Trademark Office

16367 U.S. PTO
051104

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53 (c).

Express Mail Label No. **EV335606099US**

INVENTOR(S)					
Given Name (first and middle [if any])		Family Name or Surname		Residence (City and either State or Foreign Country)	
Uwe		Limbeck		Kirchheim unter Teck, Germany	
<input type="checkbox"/> Additional inventors are being named on the _____ separately numbered sheets attached hereto					
TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)					
METHOD TO COLD-START A FUEL CELL SYSTEM AT SUB-ZERO TEMPERATURES					
CORRESPONDENCE ADDRESS					
Direct all correspondence to:					
<input checked="" type="checkbox"/> Customer Number: 00500					
OR					
<input type="checkbox"/> Firm or Individual Name					
Address					
Address					
City		State		ZIP	
Country		Telephone		Fax	
ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)					
<input checked="" type="checkbox"/> Specification Number of Pages		12		<input type="checkbox"/> CD(s), Number	
<input checked="" type="checkbox"/> Drawing(s) Number of Sheets		1		<input checked="" type="checkbox"/> Other (specify) Fee Transmittal (+ copy)	
<input checked="" type="checkbox"/> Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76					
METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT					
<input type="checkbox"/> Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.					
<input checked="" type="checkbox"/> A check or money order is enclosed to cover the filing fees.				Filing Fee Amount \$160	
<input type="checkbox"/> The Director is hereby authorized to charge filing fees or credit overpayments to Deposit Account Number: 19-1090					
<input type="checkbox"/> Payment by credit card. Form PTO-2038 is attached.					
The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.					
<input checked="" type="checkbox"/> No.					
<input type="checkbox"/> Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are: _____					
Respectfully submitted,					
SIGNATURE				DATE 5/11/04 May 11, 2004	
TYPED or PRINTED NAME		Karl R. Hermanns		REGISTRATION NO. (if appropriate) 33,507	
TELEPHONE		(206) 622-4900		DOCKET NUMBER: 130309.498P1	

USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT
This collection of information is required by 37 CFR 1.51. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 8 hours to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: 481403_1.DOC

FEE TRANSMITTAL for FY 2004

Patent fees are subject to annual revision.

☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.

TOTAL AMOUNT OF PAYMENT (\$) **160**

Complete if Known

Application Number
Filing Date **May 11, 2004**
First Named Inventor **Uwe Limbeck**
Examiner Name
Art Unit
Attorney Docket No. **130309.498P1**

METHOD OF PAYMENT

☒ Payment Enclosed:
☒ Check ☐ Credit card ☐ Money Order ☐ Other

☐ Deposit Account:

Deposit
Account
Number

19-1090

Deposit
Account
Name

**Seed Intellectual Property Law Group
PLLC**

The Director is authorized to (check all that apply)

- ☐ Charge fee(s) indicated below ☒ Credit any overpayments
☐ Charge any additional fee(s) during the pendency of this application
☐ Charge fee(s) indicated below, except for the filing fee
☒ Charge any deficiencies

to the above-identified deposit account.

FEE CALCULATION

1. BASIC FILING FEE

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1001	770	2001	385	Utility filing fee	
1002	340	2002	170	Design filing fee	
1003	530	2003	265	Plant filing fee	
1004	770	2004	385	Reissue filing fee	
1005	160	2005	80	Provisional filing fee	160
SUBTOTAL (1)					(\$ 160)

2. EXTRA CLAIM FEES FOR UTILITY AND REISSUE

Total Claims	Extra Claims	Fee from below	Fee Paid
Independent Claims			
Multiple Dependent			

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1202	18	2202	9	Claims in excess of 20	
1201	86	2201	43	Independent claims in excess of 3	
1203	290	2203	145	Multiple dependent claim, if not paid	
1204	86	2204	43	** Reissue independent claims over original patent	
1205	18	2205	9	** Reissue claims in excess of 20 and over original patent	

SUBTOTAL (2) (\$)

**or number previously paid, if greater; For Reissues, see above

FEE CALCULATION (continued)

3. ADDITIONAL FEES

Large Entity		Small		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1051	130	2051	65	Surcharge - late filing fee or oath	
1052	50	2052	25	Surcharge - late provisional filing fee or cover sheet	
1053	130	1053	130	Non-English specification	
1812	2520	1812	2520	For filing a request for <i>ex parte</i> reexamination	
1804	920*	1804	920*	Requesting publication of SIR prior to Examiner action	
1805	1640*	1805	1640*	Requesting publication of SIR after Examiner action	
1251	110	2251	55	Extension for reply within first month	
1252	420	2252	210	Extension for reply within second month	
1253	950	2253	475	Extension for reply within third month	
1254	1480	2254	740	Extension for reply within fourth month	
1255	2010	2255	1005	Extension for reply within fifth month	
1401	330	2401	165	Notice of Appeal	
1402	330	2402	165	Filing a brief in support of an appeal	
1403	290	2403	145	Request for oral hearing	
1451	1510	1451	1510	Petition to institute a public use proceeding	
1452	110	2452	55	Petition to revive - unavoidable	
1453	1330	2453	665	Petition to revive - unintentional	
1501	1330	2501	665	Utility issue fee (or reissue)	
1502	480	2502	240	Design issue fee	
1503	640	2503	320	Plant issue fee	
1460	130	1460	130	Petitions to the Commissioner	
1807	50	1807	50	Processing fee under 37 CFR 1.17(q)	
1806	180	1806	180	Submission of Information Disclosure Stmt	
8021	40	8021	40	Recording each patent assignment per property (times number of properties)	
1809	770	2809	385	Filing a submission after final rejection (37 CFR § 1.129(a))	
1810	770	2810	385	For each additional invention to be examined (37 CFR § 1.129(b))	
1801	770	2801	385	Request for Continued Examination (RCE)	
1802	900	1802	900	Request for expedited examination of a design application	

Other fee (specify) _____

*Reduced by Basic Filing Fee Paid

SUBTOTAL (3) (\$)

SUBMITTED BY

Name (Print/Type) **Karl R. Hermanns**

Signature

[Signature]

Registration No. **33,507**

Attorney/Agent

Date

May 11, 2004

Customer Number

00500

This collection of information is required by 37 CFR 1.17 and 1.27. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

481448_1.DOC

METHOD TO COLD-START A FUEL CELL SYSTEM AT SUB-ZERO TEMPERATURES

5 The present invention concerns a method to cold-start a fuel cell system at sub-zero temperatures.

One general problem of fuel cell systems is their start-up at low temperatures, *i.e.*, at temperatures significantly below 0°C. For example, if a fuel cell system is to be started at a temperature of -15°C, one at first uses a heating device associated with the fuel cell system to heat the fuel cell system, in particular its stack of
10 membrane-electrode assemblies, to a temperature of for example +5°C, and only then starts the fuel cell system. This is based on the consideration that the fuel cell system at first has to be heated to a temperature, above which the water generated by the fuel cell system can no longer freeze, which would create problems. The heating device may comprise a burner to generate the required thermal energy, whereby the burner may for example be operated
15 with hydrogen that is also used as fuel for the fuel cell system. The heat generated by the burner is used to heat a cooling fluid, which circulates in a coolant loop that during the subsequent operation of the fuel cell stack serves to cool the fuel cell stack. The coolant heated by the burner of the heating device circulates in the coolant loop and in this manner transfers the thermal energy to the fuel cell stack to preheat the fuel cell stack.

20 The above-described pre-heating process must be completed in as short a time period as possible, so that the fuel cell system can be started as quickly as possible, even at low ambient temperatures. During this, a significant amount of heat has to be transferred to the coolant in a short time period. This in turn means that a corresponding air flow has to be supplied to the burner, which can only be accomplished with the help of
25 a powerful fan or a compressor. For this reason, the overall electrical power required prior to the actual start of the fuel cell system is very high, since it is not only necessary to operate the above-mentioned fan or compressor, but also the coolant circulating pump and a control unit that controls the heating process. Since normally the fuel cell stack does not generate any power during the heating process, the required electrical power is generally

provided by a correspondingly large dimensioned battery. This is undesirable for weight- and space related reasons, in particular for mobile fuel cell applications.

The objective of the invention is to provide an improved method for the cold-starting of a fuel cell system with lower battery energy requirements.

5 Starting with a fuel cell system with a fuel cell stack and a heating device connected upstream of the fuel cell stack to heat a cooling agent to be circulated by a coolant pump, the invention solves this problem by means of the following features: the cold fuel cell stack is operated at a capacity that generates enough power to operate the heating device and the coolant pump; the power generated by the fuel cell is used to
10 operate the heating device for heating the coolant and the coolant pump for circulating the coolant between the fuel cell stack and the heating device; the heating device is switched off as soon as the fuel cell stack has reached a preset temperature that is higher than the original temperature.

The solution according to the invention is based on the capability of a fuel
15 cell system to run at sub-zero temperatures, at least under low load conditions and for a short period of time. It has been known that fuel cell systems can generate power at sub-zero temperatures, see for example U.S. Patent No. 5,798,186, but it is also known that a prolonged operation at sub-zero temperatures can lead to problems, for example due to ice formation in the lines for the reactant streams. For this reason, it was widely assumed that
20 the fuel cell stack is not really suitable as a power source during the cold-start of a fuel cell system. But the invention is based on the finding that even under conditions of this nature the fuel cell stack is able to deliver an amount of power that is at least sufficiently large to operate the heating device, preferably even to operate the coolant pump and an air compressor. The critical factor is the fact that the fuel cell stack can provide this amount of
25 power over a time period that is long enough to heat the fuel cell stack to a temperature above zero before ice formation sets in. Now, a battery or other energy source is only needed for the actual starting of the fuel cell system, but this battery can be much smaller than up to now, since immediately after the below-zero start-up of the fuel cell stack, the latter will provide power.

Preferably, the method according to the invention is implemented in such a way that the fuel cell system will be operated at a capacity that is just barely sufficient to provide the power that is necessary to operate the heating device, the coolant pump, and possibly necessary auxiliaries.

5 A further advantage of the method according to the invention is that the fuel cell stack generates heat immediately after its start-up at sub-zero temperatures, which results in a more rapid heating of the fuel cell stack and thus in a shorter waiting period before the fuel cell system can provide full power.

Even an interruption of the start-up process, which usually takes
10 approximately one minute, is no problem for the invention, since according to the invention the cold fuel cell stack can be operated at low load for a duration of several minutes, which allows three to four successive start-up processes using the method according to the invention.

In one embodiment of the method according to the invention, the preset
15 temperature is $+5^{\circ}\text{C}$, *i.e.*, the heating device of the fuel cell system is switched off when the fuel cell stack has reached a temperature of $+5^{\circ}\text{C}$. But it goes without saying that other preset temperatures can be used according to the invention, if these temperatures are sufficiently high to allow the respective fuel cell system to reach its operating temperature without additional external heat input. The present assumption in this regard is that for fuel
20 cell systems with solid polymer electrolytes these preset temperatures have to be above the freezing point, preferably close to or above $+5^{\circ}\text{C}$.

In preferred embodiments of the method according to the invention, the heating device is a burner. This burner may for example be fuelled with hydrogen, which is of advantage since the fuel cell stack also requires hydrogen for its operation. If the
25 heating device is a burner, then the process of operating the cold fuel cell stack at low load to generate the required power is implemented so that sufficient power is generated to operate the auxiliaries necessary for the operation of the burner (starting device of the burner, fan or compressor for air supply, etc.). Of course, there also has to be sufficient power to operate the coolant pump.

The method according to the invention can realize cost advantages if a burner serves as heating device since neither the burner nor the heat exchanger or heat exchangers have to be rigorously designed for the lowest possible pressure loss, as has been the case traditionally in order to keep the electrical power needed to operate the heating device prior to the actual start-up of the fuel cell system as low as possible. For this reason, according to the invention, both the burner and the heat exchanger or heat exchangers can be designed to be smaller and thus cheaper and more compact.

If a burner serves as the heating device, the method according to the invention can realize further advantages by employing in a preferred embodiment one and the same air compressor to supply both the fuel cell stack and the burner with oxygen. This reduces the power requirements even further.

If in the method according to the invention one employs one and the same air compressor to supply air to both the burner and the fuel cell stack, then the air volume delivered by the air compressor preferably is divided between the burner and the fuel cell in a ratio that favours the burner. In one embodiment, this ratio is 4:1.

Preferably, one uses a high-performance gas burner as burner for the method according to the invention. Such a high-performance gas burner can deliver in a short amount of time the significant amount of heat that has to be transferred to the cooling agent. In preferred embodiment examples, the high-performance gas burner has a power output in a range of approximately 30 kW to 90 kW. Depending on the desired burner output, a burner of this type requires an air mass flow rate of between approximately 50 kg/hr and 300 kg/hr during operation. As mentioned before, one preferably uses hydrogen to operate the burner.

Thus the present invention overall provides a significantly improved method for cold-starting a fuel cell system at sub-zero temperatures, in which the desired short "start-up times" can be achieved despite the lower battery-power requirements and lower space requirements for the smaller components. The term "start-up time" denotes the time period that passes for a cold fuel cell system, before the fuel cell stack is able to deliver its full power.

The enclosed single figure uses the example of a fuel cell stack with a heating device that is connected upstream thereof or integrated therein to illustrate a preferred embodiment example of the method according to the invention.

5 10 The single figure shows a diagrammatic representation of a fuel cell stack 10 with one anode 12 and one cathode 14. Hydrogen is supplied to the anode 12 from a source (not shown) via a line 16. Via a line 18, the cathode 14 is supplied with oxygen in the form of air, which has been compressed by a compressor 20. In a manner known in the art, which for this reason will not be explained in more detail, the fuel cell stack 10 during its operation uses the supplied hydrogen and oxygen to produce power and water.

10 For the purpose of cooling the fuel cell stack 10 during its operation, the fuel cell stack 10 is connected in a heat-exchanging manner to a cooling loop 22, which uses a heat exchanger 23, which is arranged in the cooling loop 22 and is executed as a radiator, to dissipate the excess heat that is produced during the operation of the fuel cell stack 10. The cooling loop 22 also has a heat-exchanging connection to a heating device
15 24, which during a start-up phase supplies heat to the cooling agent circulating in the cooling loop 22, so that the fuel cell stack 10 can be heated more rapidly to operating temperature from very low ambient temperatures.

In the shown embodiment example, the heating device 24 comprises a high-performance gas burner 26 that is operated with hydrogen and produces hot gas, whereby
20 an additional heat exchanger 28 is used to transfer the thermal energy of the hot gas to the cooling agent circulating in the cooling loop 22. The gas burner 26 is supplied with hydrogen via a line 30, which branches off the line 16. In a mixer 32 upstream of the gas burner 26, hydrogen is mixed with the particular volume of air that is necessary to achieve proper combustion, whereby the compressor 20 delivers this air into the line 18. Control
25 valves 34 and 36 effect the desired distribution of the hydrogen flow and the air flow between the fuel cell stack 10 and the gas burner 26 or mixer 32.

A coolant pump 38 is responsible for circulating the cooling agent through the cooling loop 22. As shown in the figure, the cooling loop 22 typically is a closed loop. In the shown embodiment example, the heat exchanger 23 used to cool the cooling agent

during operation is a different heat exchanger than the heat exchanger 28 that is used to heat the cooling agent during the start-up phase, but it is also possible for the heat exchangers 23 and 28 to employ common components or to be integrated into each other.

The shown arrangement operates as follows: At first the compressor 20 is
5 started with the help of a battery (not shown) and the hydrogen supply via the line 16 is opened, so that air and hydrogen are fed to the fuel cell stack 10. The fuel cell stack 10 commences operation and is set by its control system to operate at low load, *e.g.*, at approximately 10% of its rated power. The power generated by the fuel cell stack 10 is now used to drive the compressor 20, the coolant pump 38, as well as all auxiliaries
10 necessary for the operation of the heating device 24 and the fuel cell stack 10. The heating device 24, in particular its gas burner 26, is started and the hot gas generated by it heats the cooling agent in the cooling loop 22, which is circulated through the cooling loop 22 by the coolant pump 38. In this operating state, the heat exchanger 23 is not operating, *i.e.*, either it is not supplied with cooling agent or the cooling agent circulating in the cooling loop 22
15 is carried past the heat exchanger 23, for example by means of a bypass line (not shown) that bypasses the heat exchanger 23.

As soon as the fuel cell stack 10 has reached the temperature required for normal operation, for example +5°C, the gas burner 26 is switched off and the fuel cell stack 10 can be operated at a higher load, or at full load, if required. In this operating state
20 the cooling loop 22 serves its actual purpose, namely cooling the fuel cell stack 10 by means of the heat exchanger 23.

In the following, we will use an example to further explain the application of the method of the present invention in a fuel cell system.

For the experiment, we employed a polymer-electrolyte-membrane fuel cell
25 stack with an output power of approximately 85 kW. This fuel cell stack can be operated for approximately 3 to 4 minutes at -15°C and at a load of approximately 5% to 10% of its nominal output power, *i.e.*, with an output power of approximately 4 to 7 kW, before one faces problems due to ice formation or similar factors.

According to the method according to the invention, the fuel cell system only has to be supplied with a quantity of heat that is sufficient to heat the fuel cell stack from -15°C to a temperature from which the fuel cell stack can reach its operating temperature on its own without outside help. In the fuel cell systems under investigation, this temperature was assumed to be $+5^{\circ}\text{C}$. To be able to carry out three to four subsequent start-up processes in rapid succession, each of the start-up processes has to be completed in less than approximately 1 minute.

To heat the fuel cell stack from -15°C to $+5^{\circ}\text{C}$, one has to introduce a computed quantity of heat between 1800 and 2200 kJ into the cooling agent. It is desirably to transfer this amount of heat to the cooling agent within approximately 40 seconds, so that during the remaining 20 seconds the cooling agent can transfer the absorbed heat to the actual fuel cell stack. The listed requirements translate into a power of approximately 45 to 55 kW, which the burner has to be able to generate and the heat exchanger has to be able to transfer. For the burner to generate this quantity of heat, approximately 200 kg/hr of air have to be carried to the burner and subsequently to the heat exchanger. Assuming that an additional 3 to 50 kg/hr of air have to be supplied to the fuel cell stack during the same time period in order for the fuel cell stack to generate the required electrical power, the compressor has to be able to deliver a flow of approximately 230 to 250 kg/hr during the start-up process. In dependence on the pressure gradient that the compressor has to produce, this corresponds to approximately 2 to 5 kW of electrical power that have to be supplied to the compressor. Added to this must be the electrical power of approximately 800 W required by the coolant pump and the approximately 500 W that are needed by additional loads, such as sensors, control systems, etc., so that the fuel cell stack has to generate approximately $3\frac{1}{2}$ to $6\frac{1}{2}$ kW of electrical power during the start-up process.

As explained above, the fuel cell stack is able to generate an output power of this level already during the start-up process, which makes it possible to use a smaller starter battery. A starter battery that only has to be able to start the fuel cell stack only needs an output power of not more than 1.5 kW for less than 5 seconds, whereas a battery that also has to provide power during a cold-start process has to be able to provide a power

output of at least approximately 6 kW for up to 60 seconds. Obviously, a 1.5 kW battery is significantly smaller and cheaper than a 6 kW battery.

The above-mentioned embodiment examples and application examples are only to be considered as examples. It goes without saying that in particular the listed
5 numerical values can differ from one fuel cell system to the next fuel cell system in dependence on the chosen design and the nominal output power.

CLAIMS

1. Method to cold-start a fuel cell system at sub-zero temperatures, whereby the fuel cell system includes a fuel cell stack, upstream of which is connected a heating device to heat a cooling agent to be circulated by a coolant pump, comprising the following steps:

operating the fuel cell stack at an output power in such a way that the generated power is adequate to operate the heating device and the coolant pump,

using the power provided by the fuel cell stack to operate the heating device for the heating of the cooling agent as well as the coolant pump, and circulating the cooling agent between the fuel cell stack and the heating device,

shutting off the heating device when the fuel cell stack has reached a preset temperature that is higher than the original temperature.

2. Method according to claim 1, characterized in that the preset temperature is at least 0 degrees Celsius.

3. Method according to claim 1, characterized in that the preset temperature is at least +5 degrees Celsius.

4. Method according to one of claims 1 to 3, characterized in that the fuel cell stack is operated at a capacity, which does not exceed 10% of the nominal output power of the fuel cell system, until the preset temperature has been reached.

5. Method according to one of claims 1 to 4, characterized in that the heating device is a burner.

6. Method according to claim 5, characterized in that to operate the burner, power is provided from the fuel cell stack to the auxiliaries necessary for the operation of the burner.

7. Method according to claim 5 or 6, characterized in that the burner is operated with hydrogen.

8. Method according to one of claims 5 to 7, characterized in that one and the same air compressor is used to supply oxygen to the fuel cell stack and to the burner.

9. Method according to one of claims 5 to 8, characterized in that the burner is a high-performance gas burner.

10. Method according to claim 8 or 9, characterized in that the air volume provided by the air compressor is divided between the burner and the fuel cell stack with a ratio that favours the burner.

11. Method according to claim 10, characterized in that the air volume provided by the air compressor is divided between the burner and the fuel cell stack with a 4:1 ratio.

12. Method according to one of claims 1 to 11, characterized in that the fuel cell stack is a solid-polymer-electrolyte fuel cell stack.

13. Method according to one of claims 1 to 12, characterized in that the fuel cell system is equipped with a starter battery.

14. Method according to claim 13, characterized in that the starter battery is dimensioned to supply electrical power to the auxiliaries necessary for the supply of reactants to the fuel cell stack until the fuel cell stack itself generates electrical power.

15. Method according to claim 13 or 14, characterized in that in a first stage the starter battery supplies power to the auxiliaries necessary for the supply of reactants to the fuel cell stack, and that this power feed is interrupted when the fuel cell stack generates electrical power.

ABSTRACT

The invention concerns a method to cold-start a fuel cell system at sub-zero temperatures, whereby the fuel cell system comprises a fuel cells stack, upstream of which is connected a heating device to heat a cooling agent to be circulated by a coolant pump. To reduce the demand for stored electrical energy, the method stipulates the following: the cold fuel cell stack is operated at such a capacity that it generates sufficient power to operate the heating device and the coolant pump; the power generated by the fuel cell stack is used to operate the heating device for heating the cooling agent as well as the coolant pump, whereby the coolant pump circulates the cooling agent between the fuel cell stack and the heating device; the heating device is switched off as soon as the fuel cell stack reaches a preset temperature that is higher than the original temperature.

481369_1.DOC

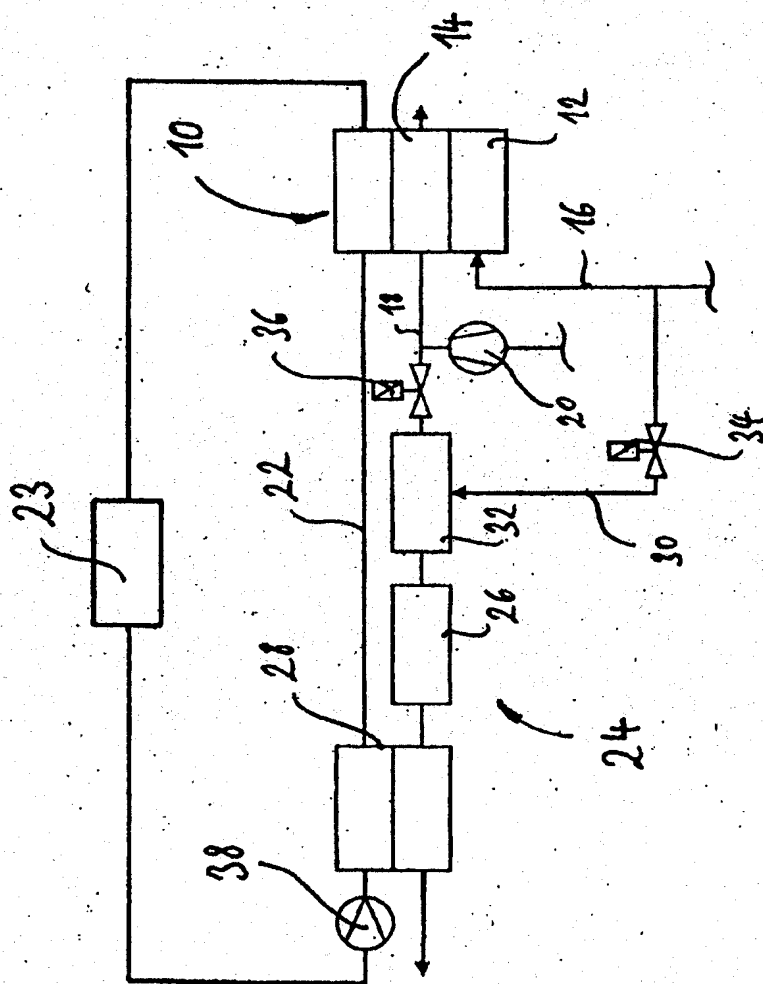


Fig.

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/US05/003357

International filing date: 04 February 2005 (04.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 102004005935.7
Filing date: 06 February 2004 (06.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 13 May 2005 (13.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



US/05/3357

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

10 2004 005 935.7

Anmeldetag:

06. Februar 2004

Anmelder/Inhaber:

Ballard Power Systems AG, 70567 Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellen-
systems bei Minustemperaturen

IPC:

H 01 M 8/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Februar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wenner

Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen.

Brennstoffzellensysteme bei niedrigen Temperaturen, d.h. bei Temperaturen deutlich unter 0°C , in Betrieb zu setzen, stellt generell ein Problem dar. Soll ein Brennstoffzellensystem beispielsweise bei einer Temperatur von -15°C in Betrieb gesetzt werden, wärmt man üblicherweise mit einer dem Brennstoffzellensystem zugeordneten Aufwärmereinrichtung das Brennstoffzellensystem, insbesondere seinen Stapel aus Membranelektrodeneinheiten, auf eine Temperatur von z.B. $+5^{\circ}\text{C}$ auf und startet dann erst das Brennstoffzellensystem. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass das Brennstoffzellensystem zunächst auf eine Temperatur gebracht werden muss, oberhalb derer das vom Brennstoffzellensystem erzeugte Wasser nicht mehr gefrieren und dadurch Probleme erzeugen kann. Die Aufwärmereinrichtung kann einen Brenner zur Erzeugung der benötigten Wärmeenergie umfassen, der z.B. mit dem auch als Treibstoff für das Brennstoffzellensystem dienenden Wasserstoff betrieben wird. Die vom Brenner erzeugte Wärme wird zum Aufheizen eines Kühlmittelfluides verwendet, welches in einem Kühlmittelkreislauf zirkuliert, der im späteren Betrieb des Brennstoffzellenstapels zu dessen Kühlung dient. Das vom Brenner der Aufwärmereinrichtung erwärmte Kühlmittel zirkuliert im Kühlmittelkreislauf und überträgt so die Wärmeenergie auf den Brennstoffzellenstapel, um diesen vorzuwärmen.

Damit ein Brennstoffzellensystem auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen möglichst schnell gestartet werden kann, muss der beschriebene Vorwärmvorgang in möglichst kurzer Zeit erfolgen. Hierzu muss eine beträchtliche Wärmemenge in kurzer Zeit auf das Kühlmittel übertragen werden. Das wiederum bedeutet, dass dem Brenner ein entsprechender Luftstrom zugeführt werden muss, was nur mit einem leistungsfähigen Gebläse oder einem Kompressor möglich ist. Insgesamt ist deshalb die vor dem tatsächlichen Start des Brennstoffzellensystems benötigte elektrische Leistung sehr hoch, denn es müssen nicht nur das erwähnte Gebläse bzw. der Kompressor betrieben werden, sondern darüber hinaus noch die Kühlmittelumwälzpumpe und eine den Aufwärmvorgang regelnde Steuereinheit. Da normalerweise der Brennstoffzellenstapel selbst während des Aufwärmvorgangs keinen Strom erzeugt, wird die benötigte elektrische Energie in der Regel von einer entsprechend groß dimensi-

onierten Batterie bereitgestellt. Insbesondere für mobile Anwendungen der Brennstoffzelle ist dies jedoch aus Gewichts- und Platzgründen unerwünscht.

Die Erfindung hat sich zum Ziel gesetzt, ein verbessertes Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bereitzustellen, das deutlich weniger Batterieenergie benötigt.

Diese Aufgabe ist ausgehend von einem Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoffzellenstapel, dem eine Aufwärmeinrichtung zur Aufheizung eines von einer Kühlmittelpumpe umzuwälzenden Kühlmittels vorgeschaltet ist, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der kalte Brennstoffzellenstapel mit einer Leistung betrieben wird, die genug Strom zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung sowie der Kühlmittelpumpe liefert, dass ferner mit dem von der Brennstoffzelle gelieferten Strom die Aufwärmeinrichtung zum Aufheizen des Kühlmittels und die Kühlmittelpumpe zum Zirkulieren des Kühlmittels zwischen dem Brennstoffzellenstapel und der Aufwärmeinrichtung betrieben werden, und dass schließlich die Aufwärmeinrichtung abgeschaltet wird, wenn der Brennstoffzellenstapel eine vorgegebene Temperatur erreicht hat, die höher als die Ausgangstemperatur ist.

Der erfindungsgemäße Lösungsansatz beruht auf der Fähigkeit, ein Brennstoffzellensystem zumindest für kurze Zeitdauer bei Minustemperaturen mit geringer Last betreiben zu können. Zwar war bekannt, dass Brennstoffzellensysteme bei Minustemperaturen Strom erzeugen können, siehe z.B. das U.S. Patent 5,798,186, jedoch ist auch bekannt, dass ein längerer Betrieb bei Minustemperaturen zu Problemen führen kann, beispielsweise durch Eisbildung in den Leitungen für die Reaktanströme. Es ist deshalb allgemein immer davon ausgegangen worden, dass der Brennstoffzellenstapel beim Kaltstart eines Brennstoffzellensystems als Stromquelle nicht wirklich geeignet ist. Erfindungsgemäß wurde jedoch gefunden, dass der Brennstoffzellenstapel auch unter diesen Bedingungen eine Strommenge liefern kann, die zumindest zum Betreiben der Aufwärmeinrichtung, vorzugsweise auch zum Betreiben der Kühlmittelpumpe und eines Luftkompressors ausreichend ist. Entscheidend ist die Tatsache, dass der Brennstoffzellenstapel diese Strommenge über eine Zeitdauer liefern kann, die dazu ausreicht, den Brennstoffzellenstapel über den Gefrierpunkt aufzuheizen, bevor es zu einer Eisbildung kommt. Lediglich zum eigentlichen Starten des Brennstoffzellensystems wird noch eine Batterie oder andere Energiequelle benötigt, die jedoch erheblich kleiner als bisher sein kann, da sofort nach dem bei Minustemperaturen erfolgten Start des Brennstoffzellenstapels von Letzterem Strom geliefert wird. Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren

so durchgeführt, dass das Brennstoffzellensystem mit einer Leistung betrieben wird, die gerade dazu ausreicht, den zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung einschließlich der Kühlmittelpumpe sowie eventuell erforderlicher Nebenaggregate benötigten Strom zu liefern.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass der Brennstoffzellenstapel selbst sofort nach seinem Start bei Minustemperaturen Wärme entwickelt, was zu seiner schnelleren Aufheizung und damit zu einer geringeren Wartezeit bis zur Verfügungstellung der vollen Leistung des Brennstoffzellensystems führt.

Erfindungsgemäß ist selbst eine Unterbrechung des Startvorgangs, der für gewöhnlich etwa 1 Minute dauert, kein Problem mehr, denn der kalte Brennstoffzellenstapel kann für mehrere Minuten mit geringer Last betrieben werden, was drei bis vier aufeinanderfolgende Startvorgänge nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erlaubt.

Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die vorgegebene Temperatur $+5^{\circ}\text{C}$, d.h. die Aufwärmeinrichtung des Brennstoffzellensystems wird abgeschaltet, wenn der Brennstoffzellenstapel eine Temperatur von $+5^{\circ}\text{C}$ erreicht hat. Es versteht sich jedoch, dass andere vorgegebene Temperaturen erfindungsgemäß ebenfalls möglich sind, wenn diese Temperaturen ausreichend hoch sind, um dem jeweiligen Brennstoffzellensystem zu ermöglichen, seine Betriebstemperatur ohne zusätzliche äußere Wärmezufuhr zu erreichen. Diesbezüglich wird derzeit davon ausgegangen, dass solche vorgegebenen Temperaturen für Brennstoffzellensysteme mit einem Feststoffpolymerelektrolyten oberhalb des Gefrierpunkts sein müssen, vorzugsweise bei oder über $+5^{\circ}\text{C}$.

Bei bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Aufwärmeinrichtung ein Brenner. Dieser Brenner kann beispielsweise mit Wasserstoff betrieben werden, was insofern vorteilhaft ist, als der Brennstoffzellenstapel selbst ebenfalls Wasserstoff für seinen Betrieb benötigt. Wenn die Aufwärmeinrichtung ein Brenner ist, wird der Schritt des Betreibens des kalten Brennstoffzellenstapels mit geringer Last zur Erzeugung des benötigten Stroms so durchgeführt, dass genügend Strom für die zum Betrieb des Brenners erforderlichen Nebenaggregate (Starteinrichtung des Brenners, Gebläse oder Kompressor zur Luftversorgung etc.) erzeugt wird. Selbstverständlich muss auch genügend Strom zum Betrieb der Kühlmittelpumpe zur Verfügung stehen.

Ist die Aufwärmeinrichtung ein Brenner, so hat das erfindungsgemäße Verfahren Vorteile auf der Kostenseite dadurch, dass weder der Brenner noch der oder die Wärmetauscher konsequent auf geringsten Druckverlust ausgelegt sein müssen, wie dies herkömmlich der Fall war, um die zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung vor dem eigentlichen Start des Brennstoffzellensystems benötigte elektrische Energie möglichst gering zu halten. Erfindungsgemäß können deshalb sowohl der Brenner als auch der oder die Wärmetauscher kleiner und damit kostengünstiger und auch kompakter ausgeführt werden.

Wenn die Aufwärmeinrichtung ein Brenner ist, ergeben sich noch weitere Vorteile durch das erfindungsgemäße Verfahren daraus, dass gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zur Versorgung des Brennstoffzellenstapels und des Brenners mit Sauerstoff ein und derselbe Luftkompressor verwendet wird. Der Strombedarf sinkt dadurch ebenfalls nochmals.

Wird beim erfindungsgemäßen Verfahren ein und derselbe Luftkompressor zur Luftversorgung des Brenners und des Brennstoffzellenstapels verwendet, dann wird vorzugsweise die vom Luftkompressor bereitgestellte Luftmenge in einem den Brenner bevorzugenden Verhältnis zwischen dem Brenner und der Brennstoffzelle aufgeteilt. Bei einer Ausführungsform beträgt dieses Verhältnis 4 : 1.

Als Brenner wird im erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise ein Hochleistungs-Gasbrenner verwendet. Ein solcher Hochleistungs-Gasbrenner kann die beträchtliche, auf das Kühlmittel zu übertragende Wärmemenge in kurzer Zeit bereitstellen. Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen hat der Hochleistungs-Gasbrenner eine Leistung im Bereich von etwa 30 kW bis 90 kW. Ein solcher Brenner benötigt im Betrieb je nach gewünschter Brennerleistung einen Luftmassenstrom von etwa 50 kg/h bis 300 kg/h. Vorzugsweise wird, wie bereits erwähnt, Wasserstoff zum Betrieb des Brenners eingesetzt.

Die vorliegende Erfindung stellt damit insgesamt ein erheblich verbessertes Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen bereit, mit dem bei verringertem Batteriestrombedarf und verringertem Bauraumbedarf aufgrund kleinerer Komponenten dennoch die erwünschten kurzen "Startzeiten" erreicht werden. Mit dem Begriff "Startzeit" ist hier der Zeitraum gemeint, der bei kaltem Brennstoffzellensystem vergeht, bis der Brennstoffzellenstapel dazu in der Lage ist, seine volle Leistung zu liefern.

Die beigefügte, einzige Figur erläutert anhand eines Brennstoffzellenstapels mit vorgeschalteter bzw. integrierter Aufwärmeinrichtung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die einzige Figur zeigt schematisch einen Brennstoffzellenstapel 10 mit einer Anode 12 und einer Kathode 14. Der Anode 12 wird durch eine Leitung 16 Wasserstoff aus einer nicht dargestellten Quelle zugeführt. Der Kathode 14 wird durch eine Leitung 18 Sauerstoff in Form von Luft zugeführt, die mittels eines Kompressors 20 verdichtet wurde. In bekannter und deshalb hier nicht näher zu erläuternder Weise erzeugt der Brennstoffzellenstapel 10 im Betrieb aus dem ihm zugeführten Wasserstoff und Sauerstoff Strom und Wasser.

Damit der Brennstoffzellenstapel 10 im Betrieb gekühlt werden kann, steht er in wärmeübertragender Verbindung mit einem Kühlkreislauf 22, der die im Betrieb des Brennstoffzellenstapels 10 entstehende, überschüssige Wärme mit Hilfe eines im Kühlkreislauf 22 angeordneten, als Kühler ausgebildeten Wärmetauschers 23 abführen kann. Um den Brennstoffzellenstapel 10 bei sehr niedrigen Umgebungstemperaturen schneller auf Betriebstemperatur bringen zu können, steht der Kühlkreislauf 22 darüber hinaus in wärmeübertragender Verbindung mit einer Aufwärmeinrichtung 24, die in einer Startphase dem im Kühlkreislauf 22 zirkulierenden Kühlmittel Wärme zuführt.

Die Aufwärmeinrichtung 24 enthält im gezeigten Ausführungsbeispiel einen mit Wasserstoff betriebenen Hochleistungs-Gasbrenner 26, der heißes Gas erzeugt, dessen Wärme mittels eines weiteren Wärmetauschers 28 auf das im Kühlkreislauf 22 zirkulierende Kühlmittel übertragen wird. Der Gasbrenner 26 wird durch eine Leitung 30, die von der Leitung 16 abzweigt, mit Wasserstoff versorgt. In einem dem Gasbrenner 26 vorgeschalteten Mischer 32 wird der Wasserstoff mit der zu einer korrekten Verbrennung erforderlichen Luftmenge vermischt, die vom Kompressor 20 in die Leitung 18 gefördert wird. Regelventile 34 und 36 sorgen für die gewünschte Aufteilung des Wasserstoffstroms und des Luftstromes zwischen dem Brennstoffzellenstapel 10 und dem Gasbrenner 26 bzw. dem Mischer 32.

Eine Kühlmittelpumpe 38 lässt das Kühlmittel im Kühlkreislauf 22 zirkulieren. Wie in der Figur gezeigt ist der Kühlkreislauf 22 typischerweise ein geschlossener Kreislauf. Der Wärmetauscher 23 zum Kühlen des Kühlmittels im Betrieb ist im gezeigten Ausführungsbeispiel ein vom Wärmetauscher 28, der zum Aufheizen des Kühlmittels in der Startphase verwendet wird, separater Wärmetauscher, jedoch können der Wär-

metauscher 28 und der Wärmetauscher 23 auch gemeinsame Teile verwenden bzw. integriert miteinander ausgebildet sein.

Die Funktion der gezeigten Anordnung ist wie folgt: Zunächst wird mittels einer nicht dargestellten Batterie der Kompressor 20 in Gang gesetzt und die Wasserstoffversorgung durch die Leitung 16 geöffnet, so dass Luft und Wasserstoff dem Brennstoffzellenstapel 10 zugeführt werden. Der Brennstoffzellenstapel 10 nimmt seinen Betrieb auf und wird mit seiner Steuerung so eingestellt, dass er mit geringer Last arbeitet, z.B. mit etwa 10 % seiner Nennleistung. Der vom Brennstoffzellenstapel 10 erzeugte Strom wird nun zum Antreiben des Kompressors 20, der Kühlmittelpumpe 38 sowie aller für einen Betrieb der Aufwärmeinrichtung 24 und des Brennstoffzellenstapels 10 erforderlichen Nebenaggregate verwendet. Die Aufwärmeinrichtung 24, insbesondere ihr Gasbrenner 26, wird gestartet und das von ihm erzeugte Heißgas heizt das Kühlmittel im Kühlkreislauf 22 auf, welches von der Kühlmittelpumpe 38 im Kühlkreislauf 22 zirkuliert wird. In diesem Betriebszustand ist der Wärmetauscher 23 ohne Funktion, d.h. ihm wird entweder kein Kühlmedium zugeführt oder das im Kühlkreislauf 22 zirkulierende Kühlmittel wird an dem Wärmetauscher 23 vorbeigeführt, beispielsweise mittels einer den Wärmetauscher 23 umgehenden Bypassleitung (nicht dargestellt).

Sobald der Brennstoffzellenstapel 10 eine zum normalen Betrieb erforderliche Temperatur erreicht hat, beispielsweise $+5^{\circ}\text{C}$, wird der Gasbrenner 26 abgestellt und der Brennstoffzellenstapel 10 kann mit erhöhter Last oder, falls erforderlich, mit voller Last betrieben werden. Der Kühlkreislauf 22 kommt in diesem Betriebszustand mittels des Wärmetauschers 23 seiner eigentlichen Aufgabe der Kühlung des Brennstoffzellenstapels 10 nach.

Zur weiteren Erläuterung wird im Folgenden ein Beispiel angegeben, wie das Verfahren der vorliegenden Erfindung auf ein Brennstoffzellensystem angewendet werden kann.

Zur Versuchsdurchführung diene ein Polymerelektrolytmembranbrennstoffzellenstapel mit einer Leistung von ca. 85 kW. Dieser Brennstoffzellenstapel kann bei -15°C für ungefähr 3 bis 4 Minuten bei einer Last zwischen etwa 5 % und 10 % seiner Nennleistung, d.h. mit einer Leistung zwischen ungefähr 4 bis 7 kW betrieben werden, bevor es zu Problemen mit Eisbildung und ähnlichem kommt.

Entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren muss dem Brennstoffzellensystem nur die Wärmemenge zugeführt werden, die dazu ausreicht, den Brennstoffzellenstapel von -15°C auf eine Temperatur zu bringen, bei der der Brennstoffzellenstapel selbst dazu in der Lage ist, ohne weitere äußere Hilfe seine Betriebstemperatur zu erreichen. Bei dem untersuchten Brennstoffzellensystem wurde diese Temperatur mit $+5^{\circ}\text{C}$ angenommen. Um drei bis vier aufeinanderfolgende Startvorgänge in schneller Abfolge durchführen zu können, muss jeder Startvorgang in weniger als etwa 1 Minute abgeschlossen sein.

Um den Brennstoffzellenstapel von -15°C auf $+5^{\circ}\text{C}$ aufzuwärmen, muss eine berechnete Wärmemenge von 1800 bis 2200 kJ in das Kühlmittel eingebracht werden. Es ist wünschenswert, diese Wärmemenge innerhalb von etwa 40 Sekunden auf das Kühlmittel zu übertragen, damit während der restlichen etwa 20 Sekunden das Kühlmittel die aufgenommene Wärme auf den Brennstoffzellenstapel selbst übertragen kann. Die genannten Anforderungen führen zu einer Leistung von ungefähr 45 bis 55 kW, die der Brenner erzeugen können und der Wärmetauscher übertragen können muss. Damit der Brenner diese Wärmemenge erzeugen kann, müssen schätzungsweise etwa 200 kg/h Luft zum Brenner und anschließend zum Wärmetauscher geleitet werden. Unter der Annahme, dass weitere 3 bis 50 kg/h an Luft im gleichen Zeitraum dem Brennstoffzellenstapel zugeführt werden müssen, damit er den erforderlichen elektrischen Strom erzeugen kann, muss deshalb der Kompressor während des Startvorgangs einen Strom von ungefähr 230 bis 250 kg/h liefern können. Abhängig vom Druckgradienten, der vom Kompressor erzeugt werden muss, ergibt sich daraus etwa 2 bis 5 kW elektrischer Leistung, die dem Kompressor zugeführt werden müssen. Hinzu kommen die ungefähr 800 W an elektrischer Leistung, die von der Kühlmittelpumpe benötigt werden, und die ungefähr 500 W, die von weiteren Lasten wie Sensoren, Steuerungen etc. benötigt werden, so dass schätzungsweise $3\frac{1}{2}$ bis $6\frac{1}{2}$ kW elektrischer Leistung während des Startvorgangs von dem Brennstoffzellenstapel erzeugt werden müssen.

Wie zuvor dargelegt, kann eine solche Leistung von dem Brennstoffzellenstapel schon während des Startvorgangs erzeugt werden und es kann deshalb eine kleinere Starterbatterie verwendet werden. Eine Starterbatterie, die nur den Brennstoffzellenstapel zu starten in der Lage sein muss, braucht nur eine Leistung von nicht mehr als 1,5 kW für weniger als 5 Sekunden aufzuweisen, wohingegen eine Batterie, die auch den Strom während des Kaltstartvorgangs liefern soll, eine Leistungsabgabe von zumindest rund 6 kW für bis zu 60 Sekunden haben muss. Ersichtlich ist eine 1,5 kW Batterie deutlich kleiner und erheblich billiger als eine 6 kW Batterie.

Die oben genannten Ausführungs- und Anwendungsbeispiele sind lediglich als beispielhaft anzusehen. Es versteht sich, dass insbesondere die genannten Zahlenwerte sich von einem Brennstoffzellensystem zu einem anderen Brennstoffzellensystem in Abhängigkeit der gewählten Konstruktion und der Nennleistung unterscheiden können.

1527

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen, wobei das Brennstoffzellensystem einen Brennstoffzellenstapel hat, dem eine Aufwärmeinrichtung zur Aufheizung eines von einer Kühlmittelpumpe umzuwälzenden Kühlmittels vorgeschaltet ist, mit den Schritten:
 - Betreiben des Brennstoffzellenstapels mit einer Leistung derart, dass der erzeugte Strom zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung sowie der Kühlmittelpumpe ausreicht,
 - Betreiben der Aufwärmeinrichtung zum Aufheizen des Kühlmittels sowie der Kühlmittelpumpe mit dem von dem Brennstoffzellenstapel gelieferten Strom und Zirkulieren des Kühlmittels zwischen dem Brennstoffzellenstapel und der Aufwärmeinrichtung,
 - Abschalten der Aufwärmeinrichtung, wenn der Brennstoffzellenstapel eine vorgegebene Temperatur erreicht hat, die höher als die Ausgangstemperatur ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Temperatur wenigstens 0 Grad Celsius ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Temperatur wenigstens +5 Grad Celsius ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoffzellenstapel mit einer 10 % der Nennleistung des Brennstoffzellensystems nicht übersteigenden Leistung betrieben wird, bis die vorgegebene Temperatur erreicht ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufwärmeinrichtung ein Brenner ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zum Betreiben des Brenners die zum Betrieb des Brenners erforderlichen Nebenaggregate mit Strom von dem Brennstoffzellenstapel versorgt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der Brenner mit Wasserstoff betrieben wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Versorgung des Brennstoffzellenstapels und des Brenners mit Sauerstoff ein und derselbe Luftkompressor verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass der Brenner ein Hochleistungs-Gasbrenner ist.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die vom Luftkompressor bereitgestellte Luftmenge zwischen dem Brenner und dem Brennstoffzellenstapel in einem den Brenner bevorzugenden Verhältnis aufgeteilt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die vom Luftkompressor bereitgestellte Luftmenge im Verhältnis 4:1 zwischen dem Brenner und dem Brennstoffzellenstapel aufgeteilt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoffzellenstapel ein Feststoffpolymerelektrolytbrennstoffzellenstapel ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass das Brennstoffzellensystem eine Starterbatterie aufweist.
14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass die Starterbatterie dafür ausgelegt ist, die zum Zuführen von Reaktanten zum Brennstoffzellenstapel notwendigen Nebenaggregate mit Strom zu versorgen, bis der Brennstoffzellenstapel selbst elektrischen Strom erzeugt.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt die Starterbatterie wie zum Zuführen von Reaktanten zum Brennstoffzellenstapel notwendigen Nebenaggregate mit Strom versorgt und dass diese Stromversorgung beendet wird, wenn der Brennstoffzellenstapel elektrischen Strom erzeugt.

Zusammenfassung

Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen, wobei das Brennstoffzellensystem einen Brennstoffzellenstapel aufweist, dem eine Aufwärmeinrichtung zur Aufheizung eines von einer Kühlmittelpumpe umzuwälzenden Kühlmittels vorgeschaltet ist. Zur Verminderung des Bedarfs an gespeicherter elektrischer Energie sieht das Verfahren vor, dass der kalte Brennstoffzellenstapel mit einer Leistung betrieben wird, derart, dass genügend Strom zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung sowie der Kühlmittelpumpe erzeugt wird, dass die Aufwärmeinrichtung zum Aufheizen des Kühlmittels sowie die Kühlmittelpumpe mit dem von dem Brennstoffzellenstapel gelieferten Strom betrieben werden, wobei die Kühlmittelpumpe das Kühlmittel zwischen dem Brennstoffzellenstapel und der Aufwärmeinrichtung zirkuliert, und dass die Aufwärmeinrichtung abgeschaltet wird, wenn der Brennstoffzellenstapel eine vorgegebene Temperatur erreicht hat, die höher als die Ausgangstemperatur ist.

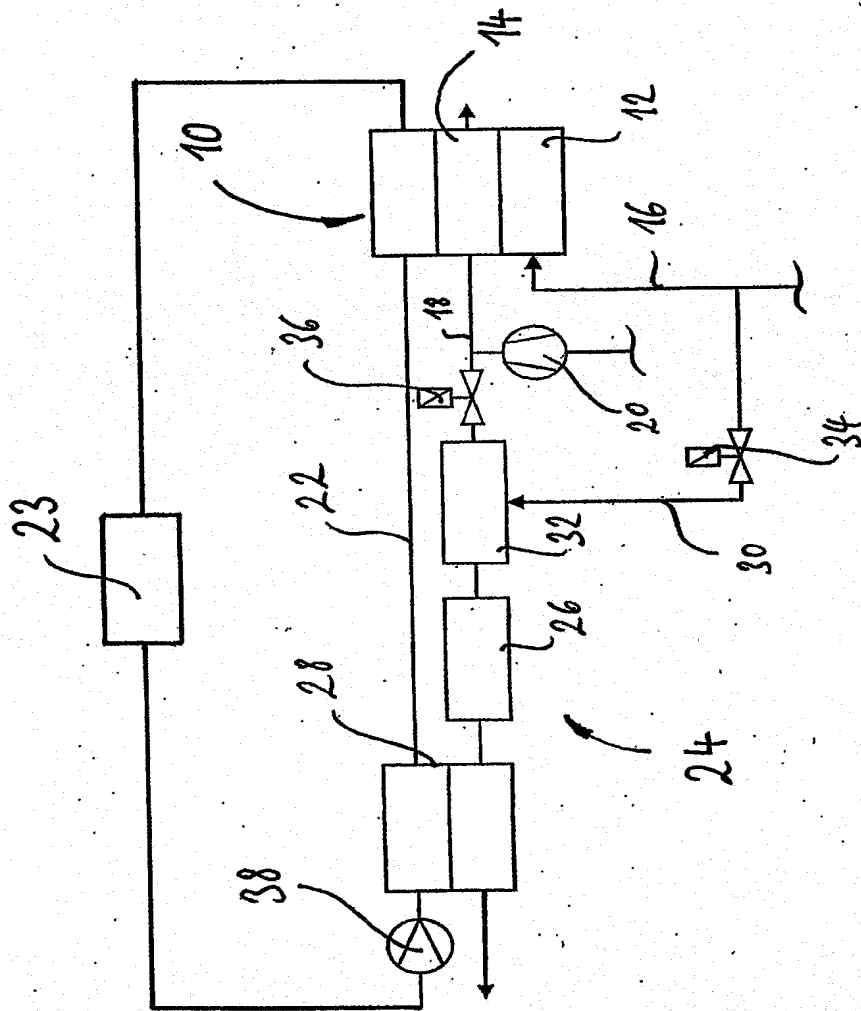


Fig.